

Aktív csillagok vizsgálata különböző időskálákon

Doktori értekezés tézisei

Készítette:
Vida Krisztián

Témavezető:
Forgácsné Dr. Dajka Emese
ELTE Csillagászati Tanszék

Konzulensek:

Dr. Oláh Katalin
MTA Konkoly Thege Miklós
Csillagászati Kutatóintézet

Dr. Kővári Zsolt
MTA Konkoly Thege Miklós
Csillagászati Kutatóintézet

Fizika Doktori Iskola
Doktori Iskola vezetője: Dr. Horváth Zalán
Részecskefizika és Csillagászat Program
Programvezető: Dr. Csikor Ferenc



ELTE TTK Csillagászati Tanszék
Budapest, 2011.

1. A kutatási téma háttere

A csillagaktivitás az erős mágneses tér miatt jön létre, amelyet mágneses dinamó hoz létre és tart fenn. E dinamók pontos működése a mai napig nem ismert, azt azonban tudjuk, hogy a keletkezésükben fontos szerepet játszik a differenciális rotáció és a meridionális irányú áramlások. A mágneses tér nagysága, így az aktivitás mértéke erősen függ a rotáció sebességétől, ezért a gyorsan forgó csillagokon az aktivitás számos jegye (csillagfoltok, fterek stb.) megfigyelhető. A rotációs sebesség mellett a csillag belső szerkezete is fontos hatással van a tér tulajdonságaira. A Naphoz hasonló csillagoknak például radiatív a magjuk, amelyet konvektív burok vesz körül, és mágneses terük fenntartásában kulcsszerepet játszik a kettőt elválasztó vékony határreteg, a tachoklína. A kis tömegű csillagok azonban kb. $0,35 M_{\text{Nap}}$ alatt teljesen konvektívvé válnak, ezekben a mai ismereteink szerint egy, a teljes konvektív zónában működő ún. disztributív dinamó tarthatja fenn a mágneses teret. Az aktivitási jegyek időbeli változásának vizsgálatából következtetni lehet a mágneses teret létrehozó dinamó jellegére. A csillagok folyamatos észlelésével nyomon követhetjük a felszíni struktúrák időbeli változását, aktív régiók születését és felbomlását, és esetleges aktivitási ciklusokat is megfigyelhetünk. Különösen fontos szerepe van a fedési kettősöknek, hiszen ezek fénygörbéjéből közvetlenül meghatározhatók a rendszer és a rendszert alkotó csillagok fizikai paraméterei (pl. tömeg, sugár) – magányos csillagoknál erre nincs mód.

Dolgozatom fő témáját ultrarövid periódusú aktív M törpék – az EY Draconis, a V374 Pegasi és a fedési kettős V405 Andromedæ – vizsgálata képezi. Az M törpecsillagok, bár halványak, a Galaxis csillagainak kétharmadát adják, és kis tömegük ellenére a Tejútrendszer tömegének kb. 20%-át teszik ki. A dolgozatomban vizsgált csillagok fél napos rotációval bírnak, így igen aktívak. A változások viszonylag gyorsan, napos-hetes időskálán is történhetnek, így az észlelések ideális célpontjaivá válnak. Mivel a csillagaktivitás Naphoz hasonló jegyeit figyelhetjük meg rajtuk, tanulmányozásukkal a Nap viselkedésének megértéséhez is közelebb kerülhetünk.

A törpecsillagok mellett két óriáscsillag, az UZ Libræ és a σ Geminorum analízisét is ismertetem, e kutatás célja a csillagok felszíni áramlásainak – a differenciális rotáció és a meridionális irányú áramlások – feltérképezése volt.

2. A kutatás módszerei

Az eredmények nagy része hazai távcsövek – a svábhegyi 60cm-es, illetve a piszkéstetői 1m-es távcsövek – fotometriai mérésein alapul. A svábhegyi 60cm-es távcsőnél részt vettem az észlelésekben, amely során az EY Draconisról, illetve a V405 Andromedæről is készültek mérések, míg 2007 őszétől Piszkéstetőn saját, független mérési programot indítottam az aktív csillagok tanulmányozására. A hazai műszerpark segítségével a cél-objektumokról hosszú és rendszeres idősorokat sikerült elkészítenünk. A CCD-képek redukcióját és fotometriáját az IRAF programcsomaggal végeztem el. A célobjektumok többségénél apertúra-fotometriát használtam, a TYC 2627-638-1-mezőt kivéve, itt ugyanis a rendszer két közeli csillaga csak PSF-fotometriával választható szét.

A foltok által okozott fényváltozások modellezését a SPOTMODEL programmal vé-

geztem el. A program legfeljebb három azonos hőmérsékletű, kör alakú folt segítségével tudja illeszteni a fénygörbékét, így meghatározható azok helyzete és mérete. A foltmodellezés segítségével az aktív régiók hosszúsága viszonylag pontosan meghatározható, azonban a fénygörbék a foltok szélességéről nem hordoznak megbízható információt. Az RS CVn típusú V405 Andromedae esetében a fénygörbe megoldását egy iteratív módszerrel kerestem meg, amely során a foltok és a kettősség hatását külön-külön kezeltem. A kettősség hatását a Wilson–Devinney-kódon alapuló PHOEBE (PHysics Of Eclipsing BinariEs) programmal modelleztem, amely egyszerre képes kezelni a négyszín-fotometriát, illetve a spektroszkópiából származó radiálissebesség-görbékét.

A fotometriai foltrekonstrukciós módszerek előnye, hogy a mérések a hazai műszerparkkal elvégezhetők, és könnyen hozzájuthatunk hosszú idősorokhoz. Azonban ezeknek a módszereknek több hátrányuk is van. A jelenlegi mérési pontosság mellett a foltok hosszúsága és mérete meghatározható, a foltok szélessége azonban nem. További problémát jelent, hogy a foltmodellezés többféle jól illeszkedő eredményt is adhat, ha több folttal modellezzük a fénygörbét. A fotometriai vizsgálatoknál pontosabb képet kaphatunk a csillagfelszíni alakzatokról spektroszkópiai méréseket felhasználva, Doppler-leképezés segítségével. Az eljárás alapja, hogy egyes spektrumvonalakban a csillagfolt – mivel a körülötte levő tartománynál hűvösebb – gyengébb abszorpciót eredményez, így az adott spektrumvonalon mint emissziós csúcs látszik. E csúcs helyzetéből és intenzitásából egyértelműen meghatározható a folt helye, mérete és hőmérséklete. Az UZ Librae és a σ Geminorum spektrumaiból a TEMPMAP program segítségével készítettünk idősoros Doppler-képeket. A képek keresztkorrelációjával megállapítható, hogy az egyes képek között eltelt időben a különböző szélességeken elhelyezkedő foltok helye hogyan változik. Az így kapott keresztkorrelációs térkép segítségével meghatározható a differenciális rotáció mértéke, illetve iránya.

A fotometriai mérések mellett a *NEON Observing School* keretében csoportunk három éjszakán a Nordic Optical Telescope és az Isaac Newton Telescope (La Palma, Spanyolország) segítségével spektroszkópiai méréseket készített az EY Draconisról és a V374 Pegasiról, majd később elvégeztem az adatok redukcióját. A közepes felbontású H α spektrumok segítségével a csillagok kromoszféráinak esetleges változásai mutathatók ki.

3. Saját eredmények összefoglalása

1. 2005 és 2008 között fotometriai méréseket készítettünk az EY Draconisról, és feldolgoztam az adatokat. Az adatsor Fourier-analízise segítségével megállapítottam a rotációs periódus hosszát, és egy kb. 350 napos aktivitási ciklus jelenlétét. Ez a Nap 11 éves foltciklusához hasonló jelenség a legrövidebb, amelyet aktív csillagokon jelenleg ismerünk. A csillag foltmodellezése két nagy méretű aktív régiót mutatott ki, amelyek hőmérséklete a fotoszféránál kb. 500K-nel hűvösebb. A két aktív régió hosszúsága nem változik jelentősen, a dominanciájuk azonban felcserélődik (flip-flop jelenség), amely a csillag mágneses terét fenntartó dinamo tulajdonságaira adhat utalást.

A fotometriai mérések mellett a *NEON Observing School* keretében jó fázislefedettséggel készítettünk spektrumokat a csillagról. A H α vonal ekvivalens szélessége és a fénygörbe antikorrrelációt mutat, ami a fotoszféra és a kromoszféra aktivitásának Naphoz hasonló kapcsolatára utal. A színindex-görbék változása alapján az aktív régiók foltdomináltak, és kevesebb a plage-terület. [1, 2, 6, 7]

2. Fotometriai méréseket végeztünk az RSCVn típusú sűrűlő fedési kettősről, a V405 Andromedáról a svábhegyi 60cm-es távcsővel, és további méréseket készítettem a pizskétetői RCC távcsővel. Elvégeztem az adatok feldolgozását. A fénygörbe megoldását egy iteratív eljárással kerestem meg, amely során a kettősség és a foltok hatásait külön-külön modelleztem, meghatároztam a kettősrendszer fizikai paramétereit. A rendszer teljesen konvektív másodkomponense jól illeszkedik az elméletileg jóslott tömeg-sugár relációhoz, azonban a radiatív maggal és konvektív zónával is rendelkező főkomponens sugara jóval nagyobb az elméleti értéknél. Ez a jelenség a csillagszerkezet mágneses tértől való függését erősíti meg.

A fotometriai adatokat az ELODIE archívumból (Haute-Provence, Franciaország) letöltött spektrumokkal egészítettem ki. A H α spektrumok tanúsága szerint a rendszer mindkét komponense aktív csillag. A H α vonal változásai plage-területekre utalnak a kromoszférában. A spektroszkópiai mérések között két, a fotometriai adatsorban egy flet figyelhető meg, ezek analízisét elvégeztem. A fotometriai adatsorban egy több napig tartó felfényesedés követhető nyomon, amelyet feltehetőleg egy koronahurok által okozott kitörés hoz létre. [4, 5]

3. 2008-ban az RCC távcsővel észlelési kampányt kezdtem a V374 Pegasi fotometriai mérésére, és elvégeztem az adatok redukcióját. Fourier-analízis segítségével meghatároztam a csillag pontos rotációs periódusát. Az észlelések során a csillag felszínén két aktív régió található, 140–150° hosszúságkülönbséggel. A foltkonfiguráció egy év alatt nem változik jelentősen, hasonlóan korábbi megfigyelésekhez, melyek a V374 Pegasi igen stabil, dipól jellegű mágneses teréről számoltak be, amely elmentmond a jelenlegi dinamóelméletek jóslatainak. A csillagon éjszakáról éjszakára azonban megfigyelhetünk változásokat, ami feltehetőleg a Nap hosszú életű aktív fészkeinél látható módon kisebb foltok felbomlásának és felbukkanásának köszönhető. A csillagon rengeteg flet figyelhető meg, amelyek nagy része a felszín egyik, foltokkal fedett részén látható, ami a fterek és e folt közötti kapcsolatra utalhat. A csillag hónapos időskálán váltokozó ferező, illetve nyugodt periódusokat mutat. [9]

4. Az UZ Librae csillagfelszíni áramlásait vizsgáltam. A csillagon gyenge, antiszo-láris differenciális rotációt találtam. Ezt az eredményt két független módszerrel (ACCORD, illetve LCT, *local correlation tracking*) is megerősítettük. A csillagon meridiális irányú áramlásra utaló egyértelmű jelet nem találtunk. A vizsgálathoz az általunk kifejlesztett ACCORD-eljárást alkalmaztuk, amely idősoros Dopplerképek keresztkorrelációjával a csillagokon levő differenciális rotációt, illetve meridiális áramlásokat képes kimutatni. [3]

5. A svábhegyi 60cm-es távcsőnél részt vettem a TYC 2627-638-1 mező mérésében, majd további négy szín-fotometriai méréseket végeztem a piszkésetői RCC távcsővel. Elvégeztem a piszkésetői, majd később a Nordic Optical Telescope (La Palma, Spanyolország) által mért képek PSF-fotometriáját, melynek segítségével lehetővé vált a rendszer két közeli komponensének különválasztása, és azok perióduselemzése. A rendszer mindkét komponense aktív csillag, az A komponensen két közeli periódus (3,5 és 3,7 nap) látható, amely feltehetőleg a foltos felszín differenciális rotációjának köszönhető. Kimutattuk, hogy az A komponens körül egy $\leq 5m_{\text{Jupiter}}$ tömegű szubsztelláris kísérő található. A B komponensen egy kb. 60 napos periódus figyelhető meg, amelyet valószínűleg egy cirkuosztelláris porkorong okoz. [8]

4. A tézisek alapjául szolgáló publikációk

1. Vida K.:
Four-colour photometry of the spotted dMe-star EY Draconis
2006, Publications of the Astronomy Department of the Eötvös University, **17**, 89
2. Vida K.:
Results of the photometry of the spotted dM1-2e star EY Draconis
2007, Astronomische Nachrichten, **328**, 817
3. Vida K., Kővári Zs., Švanda, M., Oláh K., Strassmeier, K. G., Bartus J.:
Anti-solar differential rotation and surface flow pattern on UZ Libræ
2007, Astronomische Nachrichten, **328**, 1078
4. Vida K., Oláh K., Kővári Zs., & Bartus J.:
Multicolour photometry of the M0V+M5V eclipsing binary V405 And
2009, American Institute of Physics Conference Series, **1094**, 812
5. Vida K., Oláh K., Kővári Zs., Korhonen, H., Bartus J., Hurta Zs., Posztobányi K.:
Photospheric and chromospheric activity in V405 Andromedae. An M dwarf binary with components on the two sides of the full convection limit
2009, Astronomy and Astrophysics, **504**, 1021
6. Vida K., Oláh K., Kővári Zs., Jurcsik J., Sódor Á., Váradi M., Belucz B., Dékány I., Hurta Zs., Nagy I., Posztobányi K.:
Four-colour photometry of EY Dra: A study of an ultra-fast rotating active dM1-2e star
2010, Astronomische Nachrichten, **331**, 250
7. Korhonen, H., Vida K., Husarik, M., Mahajan, S., Szczygiel, D., Oláh K.:
Photometric and spectroscopic observations of three rapidly rotating late-type stars: EY Dra, V374 Peg, and GSC 02038-00293
2010, Astronomische Nachrichten, **331**, 772

8. Oláh K., Korhonen, H., Vida K., Ilyin, I., Dall, T. H., Järvinen, S. P., Jursik J., Andersen, M. I., Djupvik, A. A., Pursimo, T., Moór A., Datson, J., Karjalainen, R., Liimets, T., Kubát, J., Kawka, A.:
Young solar type active stars: the TYC 2627-638-1 system
2010, *Astronomy and Astrophysics*, **515**, *A81*
9. Vida K., Oláh K., Kővári Zs.:
Surface evolution in stable magnetic fields: the case of the fully convective dwarf V374 Peg
Proceedings of IAU symposium 273, Physics of Sun and star spots, beküldve

5. Egyéb publikációk a dolgozat témájában

10. Kővári Zs., Vilardell, F., Ribas, I., Vida K., van Driel-Gesztelyi L., Jordi, C., Oláh K.:
Optical flares from the faint mid-dM star 2MASS J00453912+4140395
2007, *Astronomische Nachrichten*, **328**, *904*
11. Korhonen, H., Brogaard, K., Holhjem, K., Ramstedt, S., Rantala, J., Thöne, C. C., Vida K.:
Photospheric and chromospheric activity on EY Dra
2007, *Astronomische Nachrichten*, **328**, *897*
12. Kővári Zs., Bartus J., Švanda, M., Vida K., Strassmeier, K. G., Oláh K., Forgács-Dajka E.:
Surface velocity network with anti-solar differential rotation on the active K-giant σ Geminorum
2007, *Astronomische Nachrichten*, **328**, *1081*
13. Kővári Zs., Bartus J., Strassmeier, K. G., Vida K., Švanda, M., Oláh K.:
Anti-solar differential rotation on the active K-giant σ Geminorum
2007, *Astronomy and Astrophysics*, **474**, *165*
14. Kővári Zs., Washuettl, A., Foing, B. H., Vida K., Bartus J., Oláh K., MUSICOS 98 Team:
Doppler maps and surface differential rotation of EI Eri from the MUSICOS 1998 observations
2009, *American Institute of Physics Conference Series*, **1094**, *676*
15. Kővári Zs., Frasca, A., Biazzo, K., Vida K., Marilli, E., Cakirli, O.:
Differential rotation on the young solar analogue V889 Herculis
Proceedings of IAU symposium 273, Physics of Sun and star spots, beküldve